

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým
pohonem

Design and Practical Realization of the Brake System for Demonstration
Electric Vehicle

Student:

Bc. Aleš Tudja

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Tudja**
Studijní program: N3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika
Téma: **Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem**
Design and Practical Realization of the Brake System for Demonstration Electric Vehicle

Zásady pro vypracování:

1. Na základě specifikace vedoucího diplomové práce a s ohledem na konkrétní případ šasi vozidla proveďte teoretický návrh celkové koncepce brzdové soustavy pro dané vozidlo s elektrickým pohonem.
2. Dle stanovených parametrů prakticky realizujte vývojovou strukturu brzdové soustavy včetně řídicího hardware.
3. Na realizované struktuře brzdové soustavy proveďte vývoj softwarové řídicí aplikace.
4. Proveďte praktické ověření navržené a realizované brzdové soustavy při reálných jízdních podmínkách.

Seznam doporučené odborné literatury:


VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2013

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**


Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou tuto diplomovou práci *Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 19. Května 2014

Aleš Tudja

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB–TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užívat dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů který byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě dne 19. května 2014

Aleš Tudja

Adresa trvalého pobytu autora:

Bulharská 1424/27, Ostrava 70800

Anotace

TUDJA, Aleš. *Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*. Ostrava, 2014. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy. 46 s. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Obsahem diplomové práce je teoretický návrh a praktická realizace brzdového systému demonstračního vozidla s elektrickým pohonem. Úvodem je popis obecné hydraulické brzdové soustavy. Poté následuje část věnovaná konkrétnímu teoretickému návrhu. Zde je podrobně popsán výběr a dimenzování jednotlivých komponent jak mechanické, tak elektronické části systému. Další část práce pojednává o praktické realizaci systému. Konkrétně jde o realizaci prototypu řídicí jednotky, popis na zakázku vyrobených mechanických dílů, rozbor vyvinutého aplikačního software řídicí jednotky a začlenění soustavy mezi elektronické systémy vozidla. V poslední části práce je přiblíženo testování a ověřování funkčnosti systému během jeho vývoje.

Klíčová slova

Brzdová soustava, elektromobil, řídicí jednotka, aplikační software, sběrnice CAN, RS485, MQX, PXS20

Annotation

TUDJA, Aleš. *Design and Practical Realization of the Brake System for Demonstration Electric Vehicle*. Ostrava, 2014. Diploma thesis. VŠB - Technická univerzita Ostrava, University study programmes. 46 pp. Head Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

The content of this thesis is theoretical proposal and practical realization of demonstration electrical vehicle brake system. As introduction there is description of common hydraulic brake system. Then there follows part which is dedicated to theoretical proposal. There is described in detail selection and dimensioning of components, which belongs to both mechanical and electrical part of the system. Next part discusses practical realization of the system; specifically realization of ECU prototype, description of custom made mechanical parts, analysis of developed application software for ECU and integration of the brake system among other electronic systems of the vehicle. In the last part, there is brought closer testing and verifying of the system functionality during the development.

Key words

Brake system, electric vehicle, control unit, application software, CAN bus, RS485, MQX, PXS20

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1 Úvod	11
2 Teoretický návrh	13
2.1 Návrh komplexní struktury brzdové soustavy	13
2.2 Návrh mechanické části brzdové soustavy	14
2.2.1 Výběr lineárního vedení	14
2.2.2 Výběr krokového motoru	15
2.2.3 Ověření vybraných komponent výpočtem	16
2.3 Návrh řídicí a výkonové části řídicí jednotky	18
2.3.1 Řídicí část jednotky	18
2.3.2 Výkonová část jednotky	19
3 Praktická realizace	21
3.1 Praktická realizace brzdové soustavy	21
3.1.1 Řídicí jednotka BCU (Brake Control Unit)	21
3.1.2 Propojení mechanické a hydraulické části systému	28
3.2 Začlenění realizovaného systému do struktury elektronických systémů vozidla	28
3.2.1 Pohon a napájení	29
3.2.2 Komunikace prostřednictvím CAN sběrnice	30
3.3 Vývoj aplikačního software	31
3.3.1 platforma pro MCU PPC5643L	31

3.3.2 Princip funkce aplikačního software.....	32
4 Ověření funkčnosti a testování	37
5 Závěr	42
Poděkování	43
Seznam použité literatury	44
Seznam příloh.....	46

Seznam použitých zkratk a symbolů

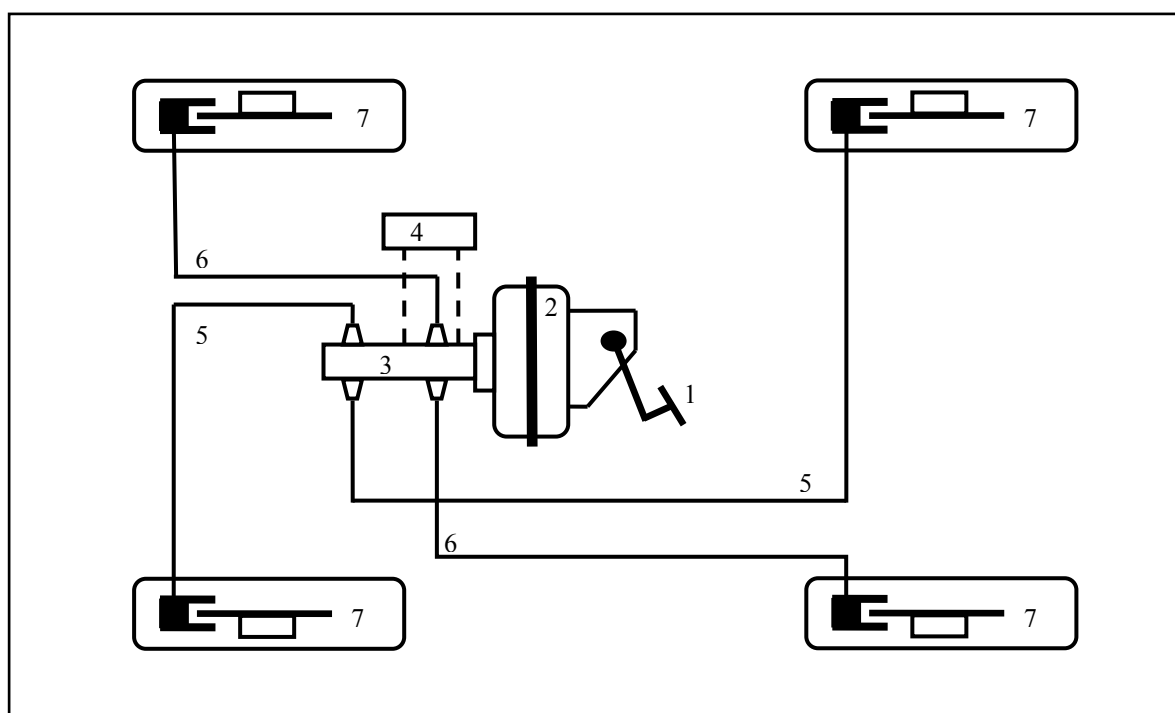
ADC	Analog-to-Digital Converter (analogově digitální převodník)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (tabulka kódů definující znaky anglické abecedy)
BCU	Brake Control Unit (řídící jednotka brzd)
CCU	Central Control Unit (centrální řídící jednotka)
DB-15	15ti pinový konektor
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
DCU	Drive Control Unit (řídící jednotka pohonu)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (technologie čipů)
ECU	Electronic Control Unit (elektronická řídící jednotka)
EHK	Evropská hospodářská komise
FET	Field-Effect Transistor (unipolární tranzistor)
FIFO	First In, First Out (metoda první dovnitř, první ven)
Flexray	Komunikační sběrnice
CAN	Controller Area Network (komunikační sběrnice)
GND	Ground (označení zemnicího potenciálu)
GPIO	General-Purpose Input/Output (univerzální vstup/výstup)
JCOMP	JTAG Compliancy (typ signálu JTAG rozhraní)
JTAG	Joint Test Action Group (programovací konektor/protokol)
LCU	Light Control Unit (řídící jednotka osvětlení)
LIN	Local Interconnet Network (komunikační sběrnice)
M	Motor
MCU	Micro Controller Unit (mikrokontrolér)
MQX	Message Queue Executive
R125	Ukončovací rezistor sběrnice CAN
RS485	Diferenční sériová linka
RTOS	Real Time Operating System (operační systém reálného času)
ŘJ	Řídící jednotka
SCU	Steering Control Unit (řídící jednotka servořízení)
SMD	Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž)
SPI	Serial Peripheral Interface (sériová linka periferií)
TCK	Test Clock Input (hodinový signál JTAG rozhraní)

TDI	Test Data Input (datový vstup JTAG rozhraní)
TDO	Test Data Output (datový výstup JTAG rozhraní)
TMS	Test Mode Select (typ signálu JTAG rozhraní)
TTL	Transistor-Transistor Logic (tranzistorově-tranzistorová logika)
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
d_2 [mm]	Střední průměr závitu
F_{VD} [N]	Posouvající síla
f_1	Součinitel tření
h	Účinnost šroubového převodu
M_k [Nm]	Krouticí moment
M_z [Nm]	Moment převáděný lineárním vedením na posuvnou sílu
P_h [mm/ot]	Stoupání závitu
ψ [°]	Úhel stoupání závitu

1 Úvod

Brzdová soustava hraje zásadní roli z hlediska bezpečnosti provozu automobilu. Je nezbytné, aby byla funkční a co nejspolehlivější. Účelem brzdové soustavy je snižování rychlosti vozu, nebo jeho úplné zastavení, popřípadě zajištění v klidovém stavu. Konkrétní požadavky na brzdovou soustavu jsou stanoveny předpisy EHK a také vyhláškou č. 315/2012 Sb. Ministerstva dopravy a spojů, kterou se mění vyhláška 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.

Běžná hydraulická brzdová soustava se kromě samotných brzd skládá z hlavního brzdového válce, podtlakového posilovače, dále pak z vyrovnávací nádrže na brzdovou kapalinu a také spojovacího potrubí. Zákon stanovuje rozdělení hydraulické části soustavy do dvou okruhů. Tyto okruhy jsou společně ovládány jedním brzdovým pedálem. V případě poruchy jednoho z okruhů nedojde k úplnému výpadku brzdové soustavy a jsou stále brzděna alespoň některá kola. [16]



Obr. 1 – Zjednodušené schéma příkladu hydraulické brzdové soustavy

Na *Obr. 1* můžeme vidět zjednodušené schéma zobrazující propojení jednotlivých komponent brzdové soustavy, jako je brzdový pedál (1), posilovač brzdného účinku (2), hlavní brzdový válec (3), vyrovnávací nádrž (4), vedení prvního (5) a druhého (6) hydraulického okruhu a samotná kola s kotoučovými brzdami (7).

Hlavní brzdový válec je hydraulický válec ovládaný silou řidiče prostřednictvím brzdového pedálu. Může být ovládán také pomocnou silou, což je například stlačený vzduch, vakuum, nebo čerpadlo. Válec je dvěma otvory spojen s vyrovnávací nádrží. Při stlačení pedálu působí tlačná tyčka na píst válce a tím je brzdová kapalina hnána směrem ke kolovým brzdovým válcům, čímž se v soustavě zvyšuje tlak. [16]

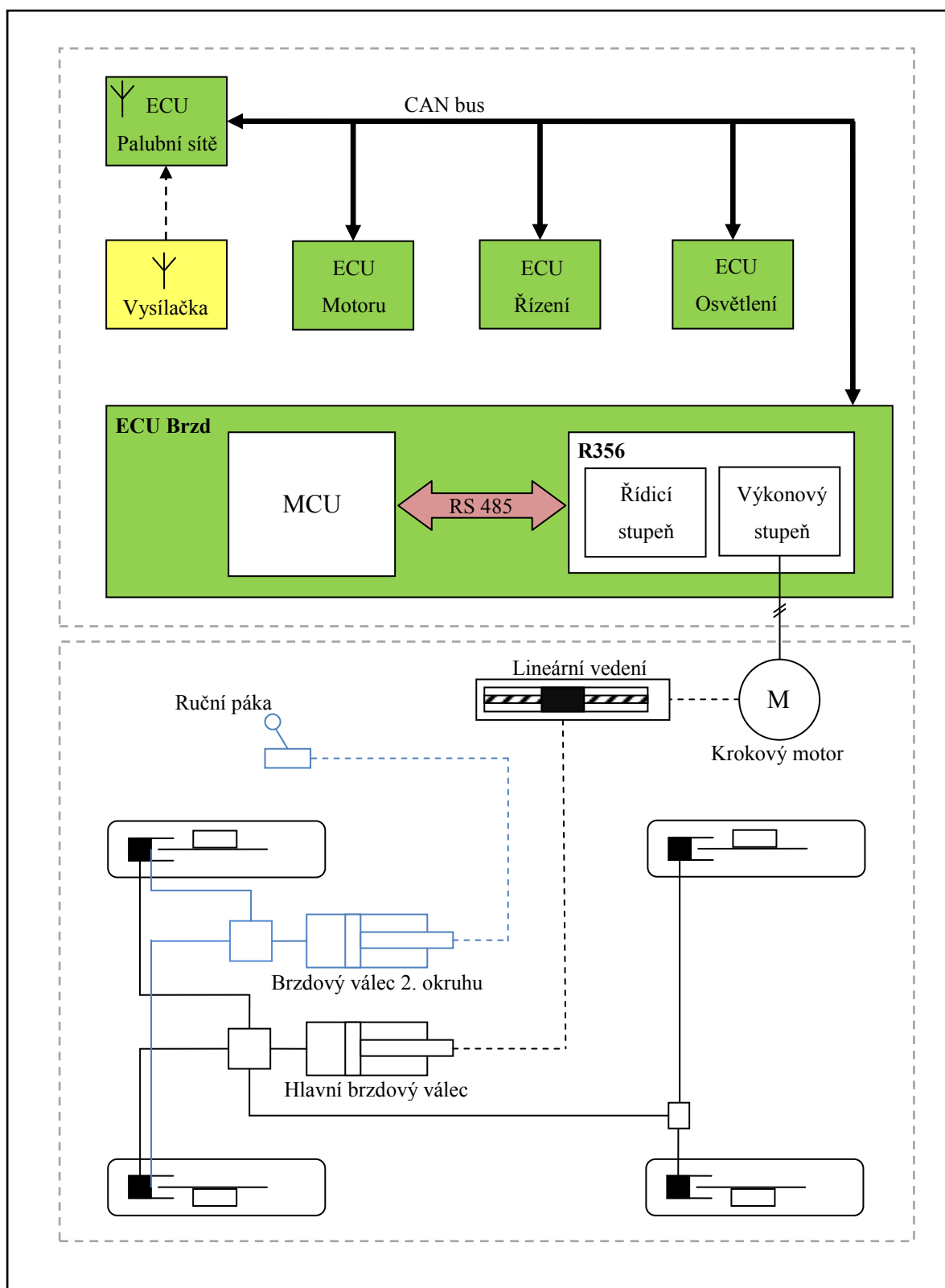
Posilovač brzdného účinku snižuje požadavek na velikost síly působící na brzdový pedál. U hydraulických brzdových soustav se využívá podtlakový posilovač. Podtlak se do posilovače dostává u zážehových motorů ze sacího potrubí. U motorů vznětových pak podtlak zajišťuje vakuové čerpadlo. [16]

Rozdělovač brzdné síly zajišťuje optimální rozdělení tlaku vyvolaného hlavním brzdovým válcem mezi jednotlivé brzdy tak, aby byl poměr mezi brzdným účinkem přední a zadní nápravy co nejvýhodnější. Tlak zadních brzd je omezován a tlak předních brzd je zvyšován, to má za následek zmenšení brzdné dráhy a zvýšení stability vozidla. [16]

Kotoučové brzdy se skládají ze dvou hlavních částí a to z kotouče, který je rotující částí a ze třmene. Boky kotouče tvoří třecí plochy, na které při brzdění tlačí desky s třecím obložením. Tyto desky se nacházejí na hydraulických válcích třmene. Rozlišujeme dva typy kotoučových brzd. Jednak ty s pevným třmenem a potom s třmenem volným. V případě brzd s pevným třmenem se ve třmeni nacházejí brzdové válce z obou stran kotouče uspořádány proti sobě. Samotné těleso třmene je pak nepohyblivé. U brzd s třmenem volným jsou hydraulické válce pouze na jedné straně kotouče, přičemž těleso třmene se pohybuje ve směru osy kotouče. Výhodou brzd s volným, neboli plovoucím kotoučem je lepší chlazení proudícím vzduchem a tedy menší přehřívání brzdové kapaliny. [16]

2 Teoretický návrh

2.1 Návrh komplexní struktury brzdové soustavy



Obr. 2 – Schéma komplexní struktury brzdové soustavy

Jedná se o hydraulickou brzdovou soustavu spouštěnou a ovládanou prostřednictvím servomechanismu, který je řízený z nadřazeného řídicího systému. S tímto systémem je servomechanismus propojen skrze tzv. kontrolér. V podstatě se jedná o programovatelný měnič, ze kterého je servomechanismus napájen. Tento měnič poskytuje řídicí napětí na základě příkazů, které obdrží z nadřazeného řídicího systému skrze sériovou linku. Nadřazený řídicí systém zpracovává povely zadané uživatelem odeslané bezdrátovým přenosem z „vysílačky“.

2.2 Návrh mechanické části brzdové soustavy

Mechanickou část systému tvoří standardní hydraulický obvod s kotoučovými brzdami. Tlak v obvodu je vyvolán v hlavním brzdovém válci. Soustava má dva hydraulické obvody, přičemž první z nich vyvolá brzdný účinek na obou brzdách kol přední nápravy a zároveň na brzdě nápravy zadní. V budoucnu je plánováno nahradit jedinou brzdu zadní nápravy dvěma brzdami jednotlivých kol, protože dojde k přestavbě, v rámci které bude zadní náprava doplněna o dva trakční elektromotory, z nichž každý bude pohánět jedno zadní kolo demonstračního vozidla. Tento hlavní brzdící okruh je aktivován mechanismem sestávajícím z lineárního vedení, které je skrze pružnou spojku uváděno do pohybu krokovým motorem. Druhý okruh potom spouští pouze brzdy kol přední nápravy. Jedná se o sekundární okruh určený k zajištění vozidla při přepravě, nebo manipulaci ve vypnutém stavu a je spouštěn manuálně pákou.

Tlak v hlavním brzdovém válci je vyvolán pohybem tlačné tyčky, která na něj působí silou. Ta se pohybuje díky otáčení prstence, na kterém je uchycena. Při dimenzování jednotlivých komponent jsem vycházel z experimentálně ověřeného faktu, že pro dosažení maximálního brzdného účinku, a tedy pro maximální stlačení brzdového válce je otáčeno prstencem, na kterém je uchycena tlačná tyčka, momentem 69 Nm.

2.2.1 Výběr lineárního vedení

Při volbě lineárního vedení bylo třeba vzít v potaz několik požadavků. Zásadní roli mají rozměry vedení. To znamená, že vedení by mělo být co nejmenší pro snadnou montáž a začlenění do konstrukce vozidla. Přitom by měl být ale zachován určitý pracovní zdvih pro stlačení pístu hlavního brzdového válce včetně rezervy pro možnost budoucího doladění mechanismu, což může mít za následek prodloužení potřebného pracovního

zdvihu lineárního vedení. Dále jsem při výběru zohlednil požadavek na co nejmenší stoupání závitu šroubu lineárního vedení z důvodu přesného nastavení brzdného účinku.

Na základě výše zmíněných kritérií se nejvhodněji jeví lineární vedení SG2605A-150P značky Kuroda se šroubem kuličkového závitu. Jeho parametry jsou následující:

Tab. 1 – Parametry lineárního vedení

průměr šroubu [mm]	8	maximální dynamické zatížení vozíku [N]	7780
stoupání [mm/ot]	5		
výška/šířka [mm]	26/50	příčné zatížení [Nm]	255
celková délka [mm]	219	podélné zatížení [Nm]	99
zdvih [mm]	73	torzní zatížení [Nm]	118
příruba NEMA	17		

Pro spojení lineárního vedení s krokovým motorem bylo třeba doplnit vedení o pružnou spojku značky Huko typu Oldham. Pro přírubu NEMA 17 je vhodná varianta s označením XY19 s vrtáním odpovídajícím vstupní hřídeli lineárního vedení a na druhé straně hřídeli krokového motoru.

2.2.2 Výběr krokového motoru

Krokový motor je synchronní motor, který se ale od běžného synchronního motoru liší tím, že rotor má předem dané přesné polohy, v kterých je schopen se udržet. Počet těchto poloh je právě počtem kroků během jedné otáčky vykonané rotorem. Standardní krokový motor s krokem $1,8^\circ$ tedy vykoná 200 kroků za otáčku rotoru. Tato vlastnost je zapříčiněna tím, že cívky tvořící pólové dvojice jsou postupně napájeny stejnosměrným proudem. Tím se tvoří specificky se pohybující magnetické pole.

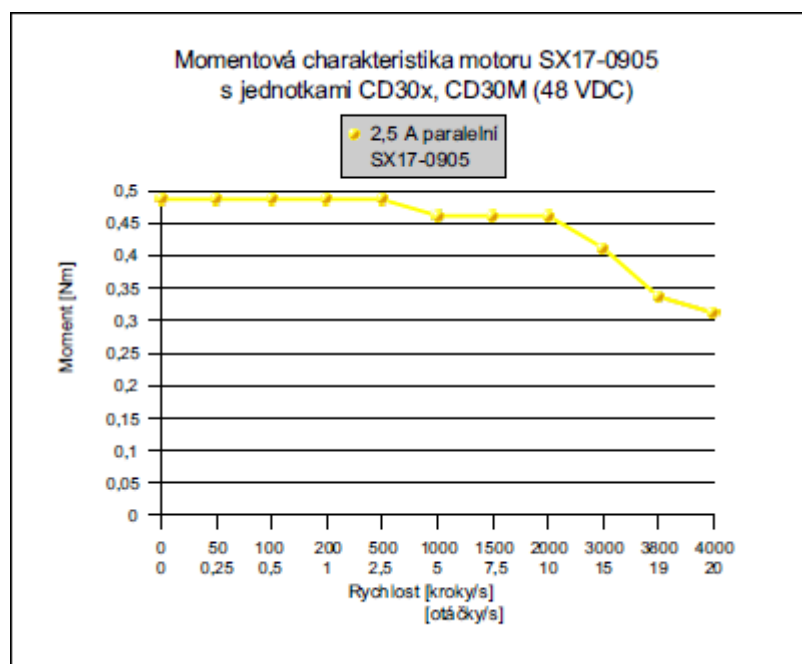
Základními konstrukčními celky krokového motoru jsou stator a rotor. Statorem jsou cívky navinuté na póly statoru, které jsou tvořeny ozubením transformátorových plechů. Stator je spojen s normovanou přírubou NEMA. Velikost příruby je potom jedním z parametrů při výběru motoru. Dále se krokové motory dělí dle typu rotoru. Typy rotoru jsou:

- Pasivní rotor – zvaný také reakční, či relokační. Podstatou je rozdílná magnetická vodivost v jeho příčné a podélné ose. V tomto případě má stator a rotor jiný počet pólů.
- Aktivní rotor – obsahuje permanentní magnet, který je polarizovaný buďto radiálně nebo axiálně. Póly statoru a rotoru nabývají i v tomto případě rozdílný počet.

- Hybridní – kombinace mezi dvěma předešlými variantami.

Napájení krokových motorů je dvojího typu a to buďto unipolární, nebo bipolární. V případě unipolárního napájení je na vinutí přiveden proud pouze jedné polaroty, zatímco v případě napájení bipolárního lze využít k napájení proud jak kladné, tak záporné polaroty. [2]

Pro zvolený typ vedení bylo nutné vybrat krokový motor s velikostí příruby NEMA 17, který by měl pokud možno co největší moment při co nejvyšších otáčkách, aby byl zachován minimální požadovaný moment při dostatečné reakční rychlosti sestaveného mechanismu. Takovému požadavku odpovídá dvoufázový krokový motor řady SX17 s označením SX17-0905 při paralelním zapojení a napájení proudem 2,5 A. Motor byl vybrán na základě vhodné momentové charakteristiky, která je zachycena na Obr. 3.



Obr. 3 – Momentová charakteristika vybraného krokového motoru

2.2.3 Ověření vybraných komponent výpočtem

Pro výpočet je třeba znát úhel stoupání závitu, který po dosazení příslušných hodnot získáme z následujícího vzorce:

$$\psi = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} \Rightarrow \arctg \frac{5}{\pi \cdot 8} = 11,25^\circ \quad (1)$$

Jelikož neznáme střední průměr závitu šroubu d_2 , můžeme do vzorce dosadit průměr šroubu z *Tab. 1*, což má za následek naprosto zanedbatelné předimenzování vybraných komponent.

Dále potřebujeme získat hodnotu účinnosti šroubového převodu z pohybu rotačního na pohyb posuvný, viz vzorec:

$$h = \frac{\operatorname{tg}(\psi)}{\operatorname{tg}(\psi + \operatorname{arctg} f_1)} \Rightarrow \frac{\operatorname{tg}(11,25^\circ)}{\operatorname{tg}(11,25^\circ + \operatorname{arctg} 0,01)} = 0,95 \quad (2)$$

Kde f_1 je součinitel tření mezi maticí a šroubem, přičemž pro šroub s kuličkovým závitem dosazujeme 0,01.

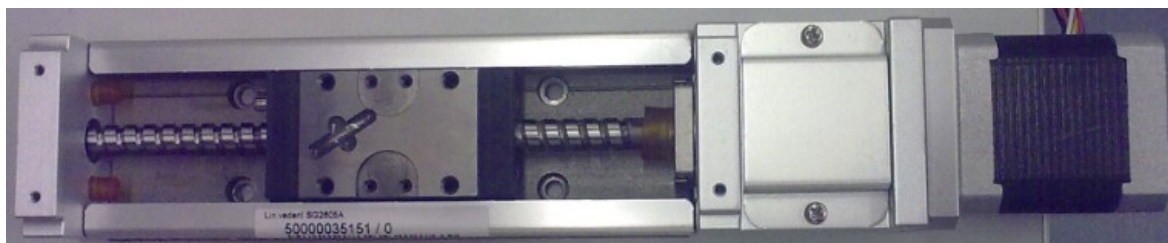
Nyní jsme schopni vypočítat posouvající sílu jezdce lineárního vedení:

$$F_{VD} = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_z \cdot h}{P_h} \Rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,4 \cdot 0,95}{5} = 477,65 \text{ N} \quad (3)$$

Na základě obecné rovnice pro výpočet krouticího momentu lze zjistit potřebnou páku, na kterou musí mechanismus působit, aby vyvinul požadovaný krouticí moment 69 Nm, kterým je působeno na tlačnou tyčku vyvolávající tlak v hlavním brzdovém válci:

$$M_k = F \cdot r \Rightarrow r = \frac{M_k}{F} \Rightarrow \frac{69}{477,65} \cong 0,15 \text{ m} \quad (4)$$

Bylo uvažováno s krouticím momentem motoru $M_z=0,4 \text{ Nm}$, který je dle charakteristiky na *Obr. 3* motor schopen dodat až do provozní rychlosti cca 15 ot/s. Krokový motor v kombinaci s vybraným lineárním vedením jsou tedy pro tuto aplikaci vhodnými komponenty, protože sestavený mechanismus je za daných podmínek dle výpočtu schopen realizovat požadovaný krouticí moment 69 Nm.



Obr. 4 – Zkompleťovaný mechanismus (Krokový motor, spojka, lineární vedení)

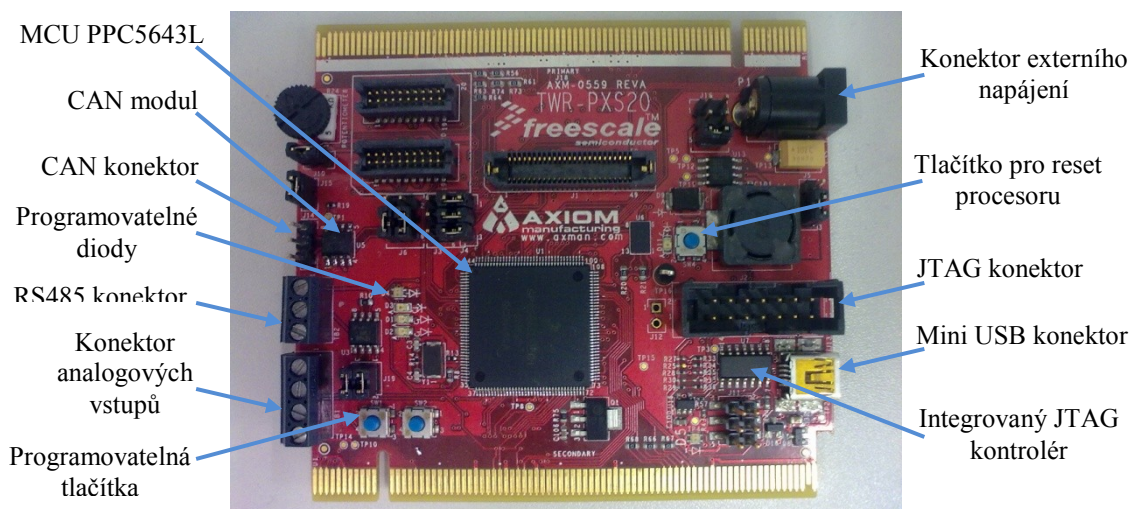
2.3 Návrh řídicí a výkonové části řídicí jednotky

Řídicí jednotka se skládá z řídicí a výkonové části. Řídicí část představuje mikroprocesor s periferiemi, kterými jsou například paměti, komunikační rozhraní a podobně. Výkonovou částí je potom v našem případě programovatelný měnič, tedy přesněji jeho koncový/výkonový stupeň který napájí krokový motor, jakožto akční člen.

2.3.1 Řídicí část jednotky

Řídicí část tedy tvoří deska s mikrokontrolérem společně s řídicím stupněm modulu R356. Pro prvotní návrh aplikace byla zvolena procesorová deska systému TWR-PSX20 firmy Freescale. Jedná se o vývojový kit, který bude ve finální aplikaci nahrazen na míru navrženou a vytvořenou řídicí jednotkou (s využitím stejného typu MCU).

Tato procesorová deska je osazena MCU PPC5643L z rodiny PXS20. Tento typ MCU je vhodný pro použití v automotive aplikacích a to především pro možnost využití komunikační sběrnice Flexray, CAN a LIN a jeho výroba a podpora je garantována i do blízké budoucnosti. Dále je k dispozici komunikace prostřednictvím protokolu UART a SPI, nebo například sériové linky RS485. Deska je napájena napětím +5V z externího zdroje, nebo lze systém napájet z osobního počítače prostřednictvím USB. Přes USB se také připojuje integrovaný JTAG programátor a debugger, který slouží pro zavedení aplikačního software do procesoru a jeho odladění. Krom této možnosti lze aplikační program nahrát do procesoru externím programátorem s využitím JTAG konektoru. [13][8]



Obr. 5 – TWR-PSX20

2.3.2 Výkonová část jednotky

Jak již bylo zmíněno, výkonovou částí řídicí jednotky je v této aplikaci kontrolér R356, respektive jeho koncový stupeň. Jedná se o programovatelný měnič, který napájí dvoufázový krokový motor. Tento kontrolér dostává příkazy vyslané ze systému TWR-PXS20 po sériové lince RS485. Krom toho je ale kontrolér schopen uložit příkazy i do vlastní paměti. Tato možnost ale nebude pro zvolenou aplikaci využita.



Obr. 6 – Kontrolér R356

Parametry kontroléru R356:

- napájecí napětí +12 až +40 V stejnosměrné,
- špičkový proud 0,3 až 3 A,
- mikro-krokování 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800, 25600 a 51200 kroků za otáčku (pro krokový motor s 1,8° krokem),
- maximální rychlost krokového motoru 2^{31} mikro-kroků za sekundu,
- maximální zrychlení 6103500000 mikro-kroků za kvadrát sekundy. [11]

Krom čtyř pinového konektoru pro připojení dvoufázového krokového motoru se na kontroléru nachází také konektor šesti pinový. Tento konektor je určen pro připojení optického enkodéru, který slouží ke snímání polohy natočení rotoru krokového motoru, tedy ke zpětné vazbě. Dále je kontrolér vybaven konektorem DB-15 s patnácti piny. Ten kromě napájení kontroléru zahrnuje dva piny pro sériovou linku RS485 a další vstupy a výstupy. Viz Tab. 2.

Tab. 2 – Pinout konektoru DB-15

PIN	Barva vodiče	Funkce
1	zelená	výkonová zem
2	černá	1 A On/Off výstup
3	žlutá/zelená	vstup směru
4	žlutá	+5 V DC vstup opto snímače
5	oranžová	vstup
6	žlutá/bílá	napájení opto snímače
7	oranžová/bílá	vstup opto snímače
8	černá/bílá	RS485 A
9	červená	napájení +12 V až +40 V
10	modrá	1 A ON/OFF výstup
11	modrá/bílá	vstup řídicího kroku
12	zelená/bílá	signálová zem
13	bílá	vstup
14	červená/bílá	vstup
15	hnědá	RS485 B

Z výše uvedených pinů budou využity krom pinů napájení a zemnění (1, 9) a dvou kanálů sériové linky RS485 (8, 15) také piny 7 a 12. Na tyto dva piny bude připojen spínač jakožto mechanický snímač krajní polohy při inicializaci.

3 Praktická realizace

3.1 Praktická realizace brzdové soustavy

Aby mohl být navržený brzdový systém skutečně nainstalován do určeného vozidla, bylo třeba navrhnout a vyrobit řídicí jednotku, kterou byl nahrazen vývojový kit TWR-PXS20. Dále byla realizována mechanická vazba spojující brzdící mechanismus sestávající z krokového motoru a lineárního vedení s hlavním brzdovým válcem hydraulického okruhu soustavy.

3.1.1 Řídicí jednotka BCU (Brake Control Unit)

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3.1, jako mikrokontrolér řídicí jednotky byl vybrán MCU čip PPC5643L z rodiny PXS20, jehož srdcem je dvou jádrový 32 bitový procesor harvardské architektury vyrobený technologií Power Architecture.

Další parametry např.:

- Jádro pracující na maximální frekvenci až 120 MHz,
- 1 MB FLASH paměť,
- 128 KB SRAM paměť,
- 16 úrovní přerušení,
- 4 kanálový časovač přerušování a softwarový watchdog časovač. [6]

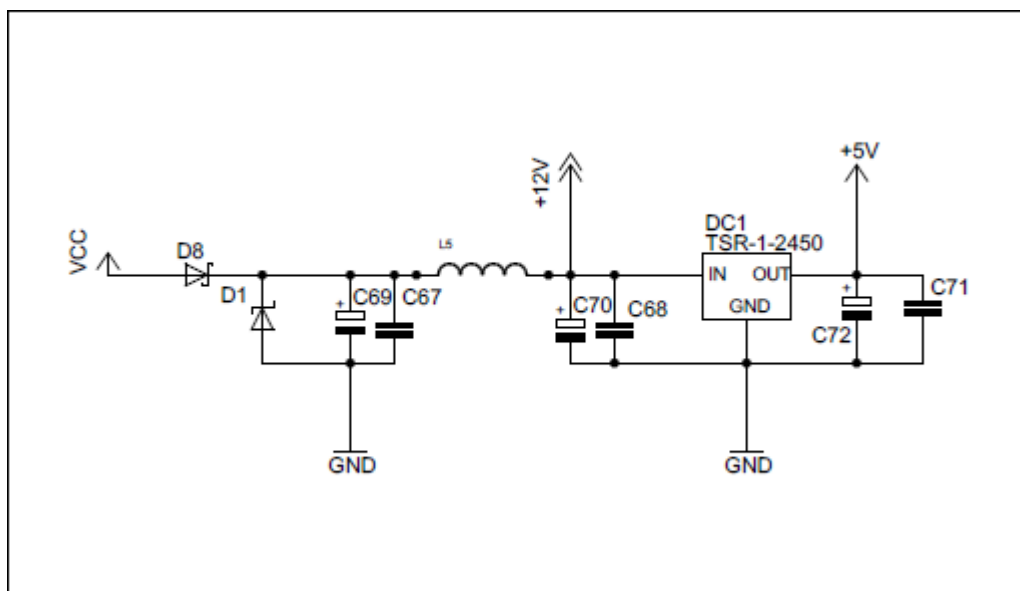
Kvůli snadné výrobě a pro co nejmenší velikost řídicí jednotky byly vybírány pokud možno součástky a integrované obvody typu SMD.

DC/DC měnič s označením TSR-1-2450 pro napájení ŘJ je ale právě jednou ze součástek, která není typu SMD. Tento měnič má zabudované filtrační kondenzátory. Součástí obvodu je také ochrana proti zkratu. S účinností až 96% nepotřebuje dodatečný pasivní heat-sink chladič.

Parametry tohoto obvodu jsou následující:

- minimální vstupní napětí 6,5 V,
- maximální vstupní napětí 36 V,
- výstupní napětí 5 V,

- výstupní proud 1 A,
- maximální výstupní výkon 5 W,
- nízký odběr proudu v pohotovostním režimu,
- rozměry pouzdra 11,7x7,6x10,2 mm,
- provozní teplota -40 až 85°C. [15]



Obr. 7 – Schéma zapojení s obvodem TSR-1-2450

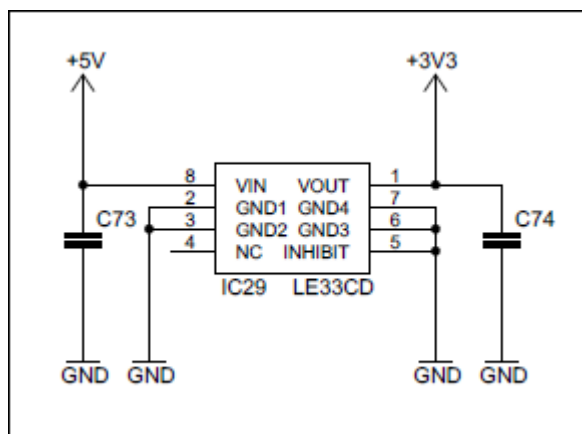
Pro blokování vstupního napětí celého zařízení jsou použity kromě keramických kondenzátorů také elektrolytické kondenzátory C69, C70 a C71, které eliminují účinek indukčnosti z napájecího zdroje, viz schéma na Obr. 7.

Jelikož je procesoru nutno dodávat napájecí napětí velikosti 3,3 V musí být na desku ŘJ implementován regulátor napětí. Pro tento účel byl vybrán lineární SMD regulátor s označením LE33CD s požadovaným výstupním napětím 3,3 V.

Základní parametry obvodu:

- výstupní proud 100 mA,
- úbytek napětí pouze 0,2 V,
- pro stabilizaci napětí požadovaná kapacita pouze 2,2 μ F,
- provozní teplota od -40 do 125 °C.

Díky svým vlastnostem je tento typ regulátoru vhodný pro použití v systémech napájených z baterie, což je právě případ demonstračního vozidla, jehož součástí bude brzdový systém, o němž pojednává tato diplomová práce. [12]

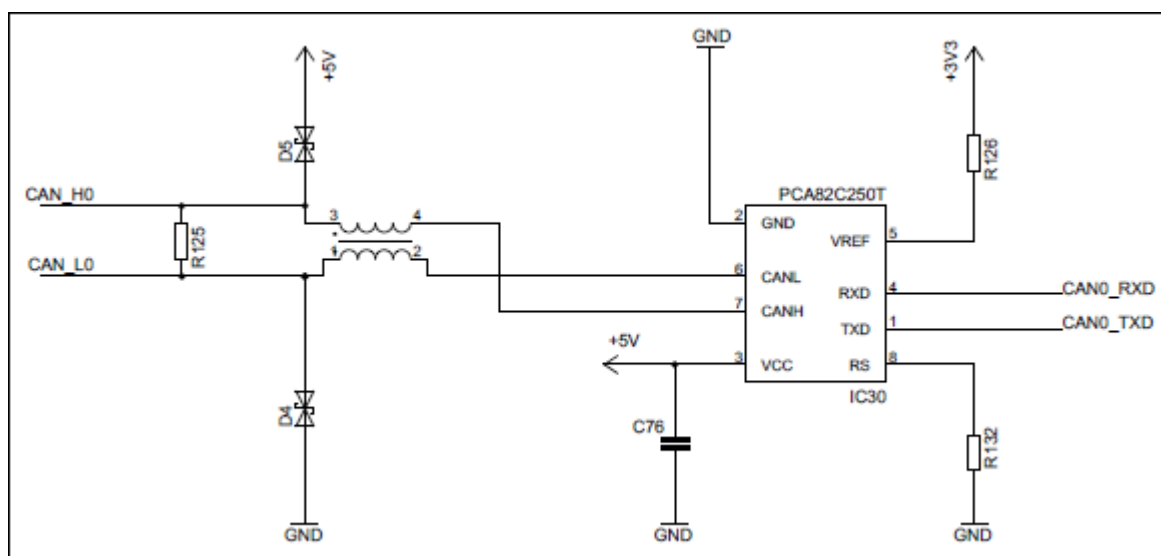


Obr. 8 – Schéma zapojení s obvodem LE33CD

Protože pro konečnou aplikaci bude využívána komunikace po sběrnici CAN, bylo třeba navrhnout pro jednotku budič sběrnice CAN. Tento modul je na jednotce implementován dvakrát. Jeden pro komunikaci s nadřazenou jednotkou a druhý pro diagnostiku. Pro návrh budiče CAN byl zvolen obvod 82C250T. Tento obvod je určený pro automobilový průmysl. Jedná se o interface mezi kontrolérem a fyzickou vrstvou sběrnice CAN.

Parametry obvodu 82C250T:

- diferenciální přenos dat až do frekvence 1 MHz,
- možnost připojit i 110 uzlů,
- ochrana komunikačních kanálů proti přechodovým jevům v automobilovém prostředí,
- obvod odolný vůči teplotě,
- minimální odběr proudu v pohotovostním režimu. [10]



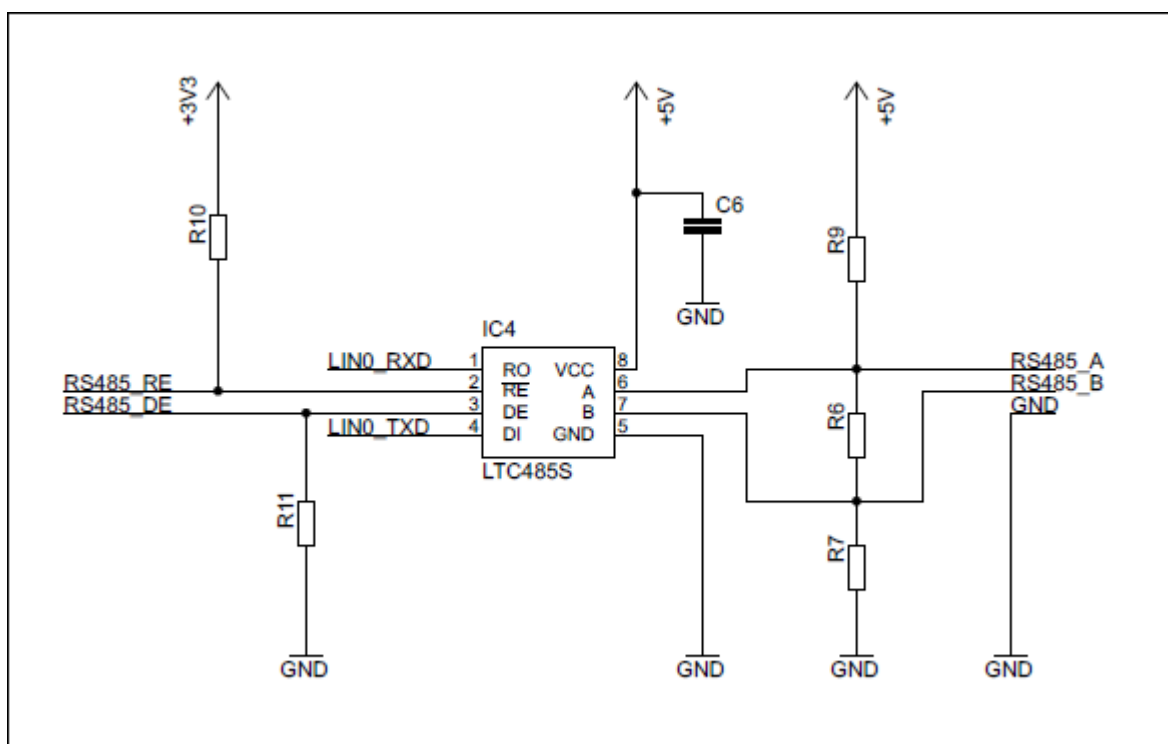
Obr. 9 – Schéma zapojení s obvodem 82C250T

Rezistor R125 zapojený mezi komunikační kanály sběrnice CAN ve schématu na *Obr. 9* je ukončovací rezistor, který eliminuje odraz přenášeného signálu na koncích sběrnice. Transily D4 a D5 pak slouží jako ochrana proti přepětí.

Pokud mikrokontrolér přijímá data z nadřazeného řídicího systému, pak je třeba, aby dále posílal příkazy do řídicí části měniče R356. Za tímto účelem musí být ŘJ vybavena modulem pro komunikaci skrze sériovou linku RS485. Tímto modulem je obvod LTC485 CMOS konstrukce, která má za následek úsporu energie oproti bipolárním součástkám při zachování odolnosti proti přetížení a poškození.

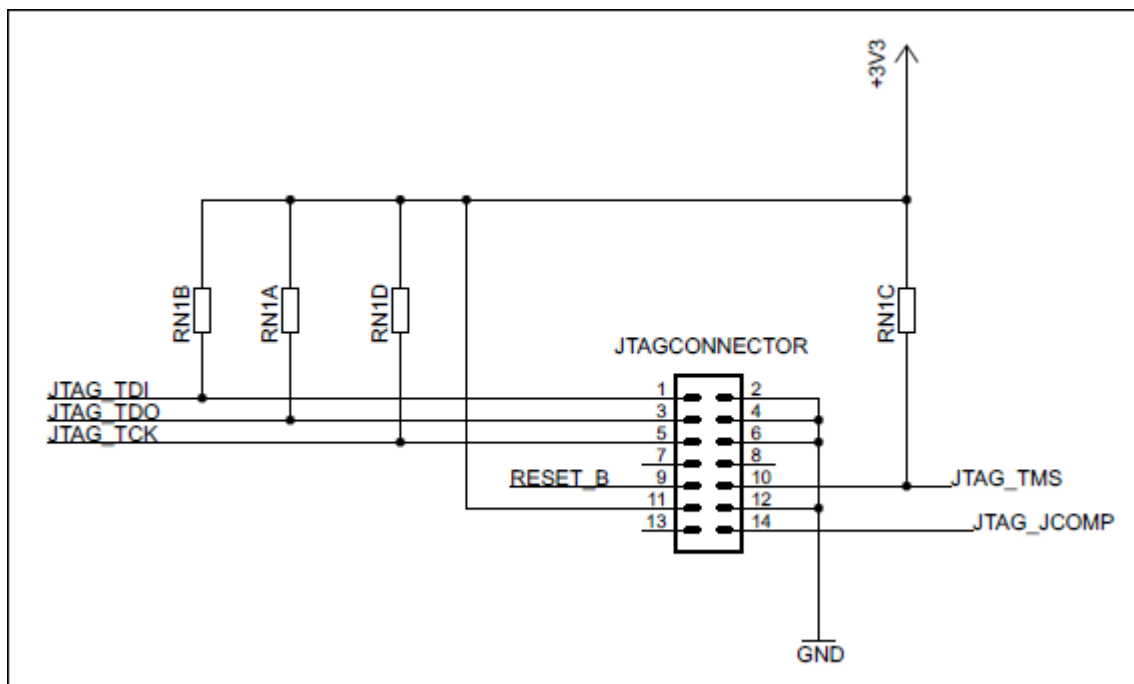
Jeho parametry jsou následující:

- nízký napájecí proud 300 μ A,
- napájecí napětí 5 V,
- maximální napájecí napětí 12 V,
- až 32 vysílačů na sběrnici,
- 30 ns zpoždění řídicího členu s 5 ns skluzem pro operace do 2,5MB,
- hystereze na vstupu 70 mV,
- provozní teplota -40 až 85°C. [9]



Obr. 10 – Schéma zapojení s obvodem LTC485

Dále je deska ŘJ vybavena 14ti pinovým JTAG konektorem pro připojení k PC a k nahrání a odladění aplikačního software.



Obr. 11 – Schéma zapojení s JTAG konektorem

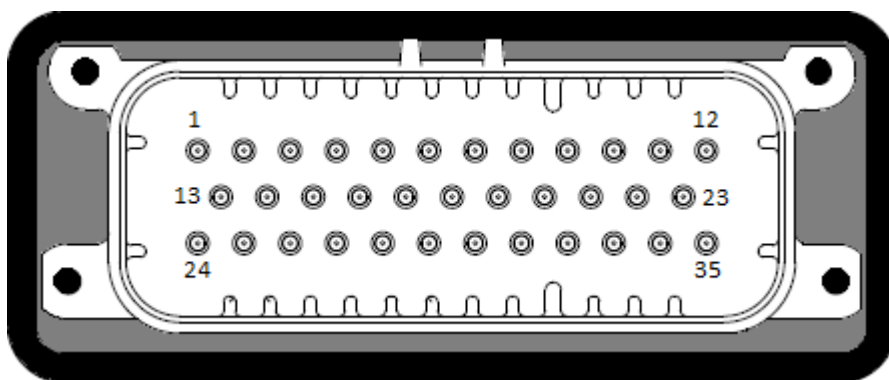
Tab. 3 – Pinout JTAG konektoru

PIN	Funkce
1	TDI
2	GND
3	TDO
4	GND
5	TCK
6	GND
7	---
8	---
9	RESET B
10	TMS
11	+3,3 V
12	GND
13	---
14	JCOMP

TCK je vstupní pin hodinového signálu. Tento signál slouží k synchronizování testovací logiky s přístupem do řídicího registru. Na třetím pinu se nachází výstup dat a testovacích příkazů. TDO je třístavový signál taktovaný podle sestupné hrany TCK a vzorkovaný vývojovým zařízením podle nástupné hrany TCK. TDI je potom vstupní pin dat

a testovacích instrukcí. Je vzorkován s nástupnou hranou TCK. TMS je vstupní pin signálu Test Mode Select. Signál na tomto pinu je vzorkován se vzestupnou hranou signálu TCK. JCOMP vstupní signál zajišťuje kompatibilitu s JTAG kontrolérem. Pin 9 je spojen s resetovacím tlačítkem. [7]

Jednotka je vybavena konektorem typu 1-776163-1 pro propojení s ostatními jednotkami a zařízeními, napájením a popřípadě pro komunikaci s diagnostickým zařízením. Tento 35-ti pinový konektor je přímo určen pro použití v automotive aplikacích.



Obr. 12 – Konektor 1-776163-1

Tab. 4 – Pinout konektoru 1-776163-1

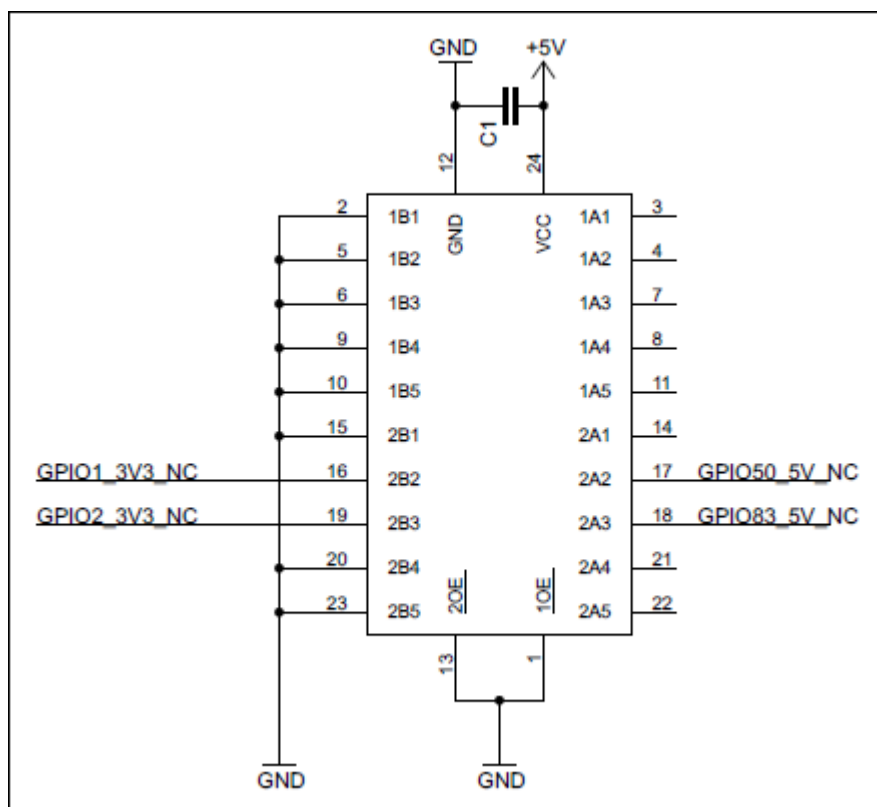
PIN	Funkce	PIN	Funkce	PIN	Funkce
1	U _{cc}	13	U _{cc}	25	GND
2	GND	14	GND	26	CAN_H0
3	---	15	CAN_L0	27	CAN_L1
4	---	16	CAN_H1	28	ADC0_AN2
5	---	17	---	29	ADC1_AN0
6	---	18	---	30	ADC1_AN1
7	---	19	RS485_A	31	ADC1_AN2
8	---	20	RS485_B	32	GPIO50_5V
9	---	21	GND	33	GPIO83_5V
10	GND	22	---	34	---
11	---	23	---	35	---
12	---	24	U _{cc}		

Kvůli zvýšení univerzálnosti navrhované jednotky jsou z mikrokontroléru vyvedeny na konektor čtyři ADC piny a dva univerzální GPIO piny. Jelikož mikrokontrolér PPC5643L pracuje s 3,3 V signály, je třeba desku doplnit o převodník úrovní signálů 3,3/5 V, aby mohla být připojena přes tento konektor zařízení s 5 V vstupy/výstupy. Z tohoto důvodu je deska ŘJ doplněna o obvod SN74BTD3384C. Tento 10 bitový převodník napětových

úrovni FET konstrukce je schopen vést data oběma směry s téměř nulovým zpožděním a podporuje jak digitální, tak analogové aplikace. Řídicí vstupy lze řídit TTL logikou, nebo CMOS výstupy.

Parametry obvodu SN74BTD3384C:

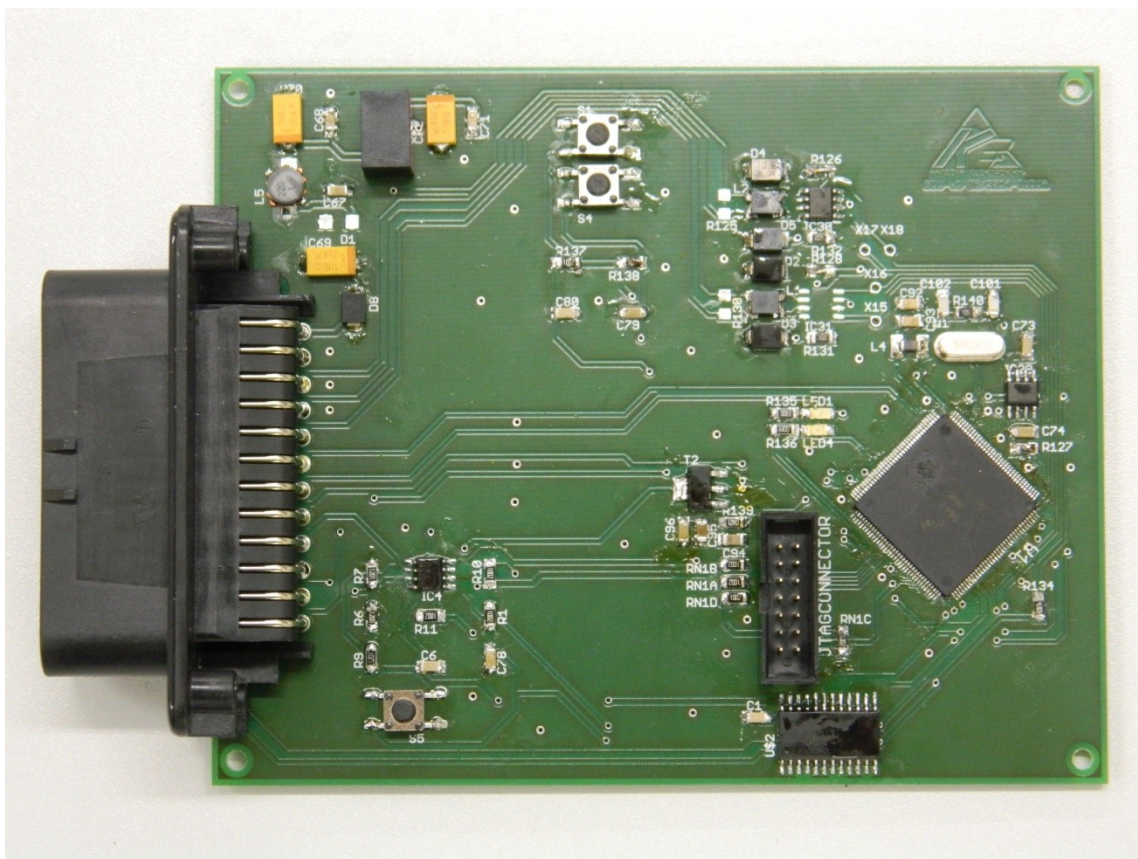
- ochrana proti podkmitu až do -2 V
- nízký odpor v zapnutém stavu cca 3 Ω
- nízká vstupní/výstupní kapacita cca 5 pF
- napájecí napětí 4,5 až 5,5 V
- provozní teplota -40 až 85°C [14]



Obr. 13 – Schéma zapojení s obvodem SN74BTD3384C

Jak je patrné ze schématu na Obr. 13, nezapojené vstupy obvodu SN74BTD3384C je třeba spojit se zemí.

Na desku ŘJ jsou implementovány dvě programovatelné diody a dvě programovatelná tlačítka. Nezbytné je také tlačítko pro restart mikrokontroléru.



Obr. 14 – Jednotka BCU

3.1.2 Propojení mechanické a hydraulické části systému

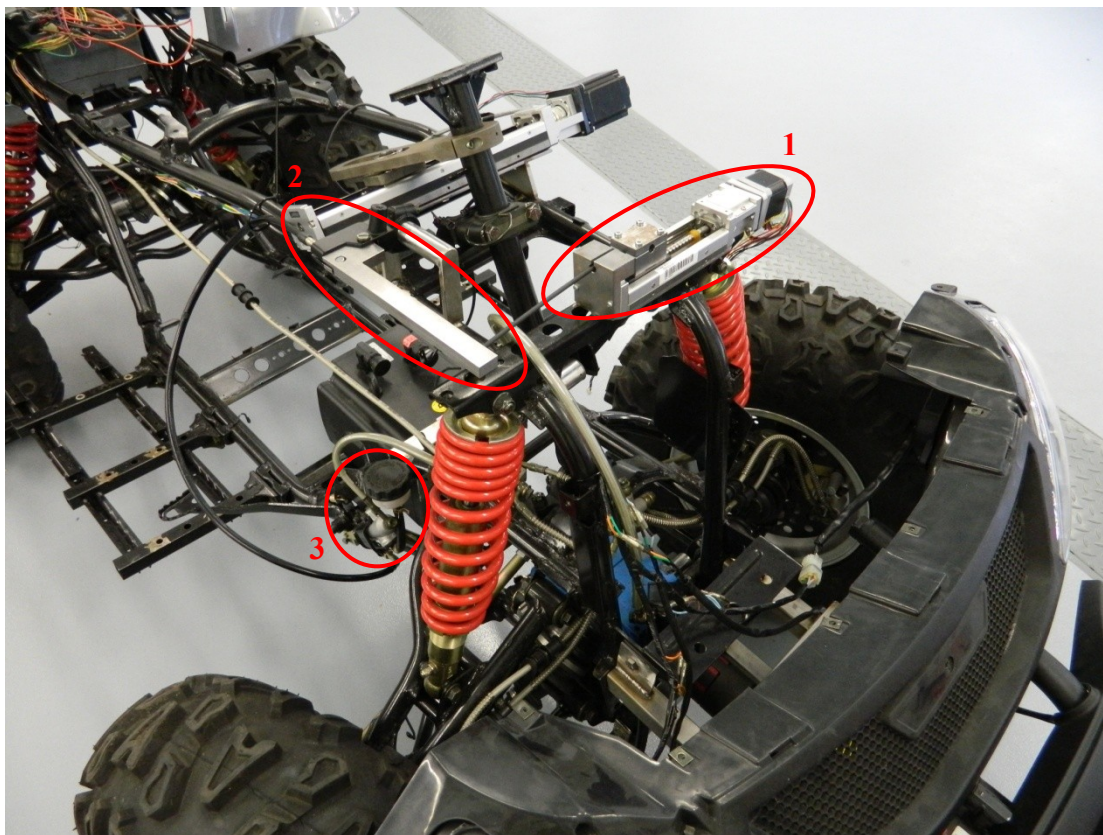
Mechanická vazba mezi lineárním vedením a hlavním brzdovým válcem musela být řešena s pákou, aby bylo dosaženo potřebného momentu, kterým je působeno na tlačnou tyčku přímo tlačící silou na brzdový válec.

Z hlediska jednoduchosti konstrukce a montáže je lineární vedení propojeno s pákou ocelovým lankem. Toto spojení je realizováno třemi ocelovými prvky vyrobenými na míru pro tuto aplikaci. Páka je pak spojena s bovdenovým kabelem, jehož lanko je na druhém konci spojeno s prstencem, kterým otáčí. S tímto prstencem je spojena také tlačná tyčka, která se s otáčením prstence pohybuje ve směru brzdového válce.

3.2 Začlenění realizovaného systému do struktury elektronických systémů vozidla

Začlenění realizované brzdové soustavy do komplexní struktury systému demonstračního vozidla s elektrickým pohonem DEMOCAR nespočívá pouze v mechanické instalaci do šasi vozidla. Brzdová soustava musí být propojena s palubní sítí, protože je závislá na

dodávce napájecího napětí některých elektronických komponent. Pro svou funkci také vyžaduje spojení s řídicími jednotkami ostatních elektronických systémů vozidla.



Obr. 15 – Montáž brzdícího mechanismu do šasi vozidla

Obr. 15 zachycuje provedení montáže brzdícího mechanismu do šasi vozidla. Červeným oválem je zvýrazněn samotný mechanismus (1), páka (2) a hlavní brzdový válec (3).

3.2.1 Pohon a napájení

Tato brzdová soustava je navržena pro demonstrační vozidlo poháněné dvěma elektromotory. V budoucnu je plánována úprava na pohon čtyřmi elektromotory tak, aby každé kolo bylo hnáno vlastním motorem. Motory typu DSC100S64U10-5 značky Baumüller jsou kompaktní třífázové synchronní motory s permanentními magnety na rotoru. Motory jsou skrze měniče napájeny ze speciálního batterypacku s napětím až 660 V. Ten je konstruován z 200 LiFePO₄ (lithium-železo-fosfát) článků. Napětí jednoho nabitého článku je 3,3 V. Z těchto baterií jsou napájeny také jednotlivé komponenty brzdové soustavy a ostatních elektronických systémů. Pro brzdovou soustavu je třeba distribuovat napájecí napětí 12 V řídicí jednotce a ideálně 40 V napájecího napětí pro modul R356.

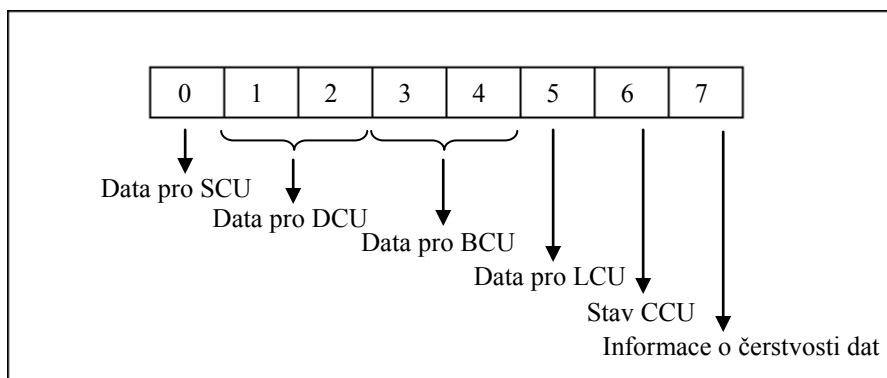
Důležitým faktem je, že vozidlo je schopno brzdit samotnými motory a to v závislosti na jejich otáčkách. Pokud je to tedy možné, vozidlo je brzděno primárně motory. Hydraulická brzdová soustava je tedy aktivní, pokud brzdění motory není k dispozici, nebo není dostačující, dále pak při dobrzdňování do úplného zastavení a také ve funkci parkovací brzdy.

3.2.2 Komunikace prostřednictvím CAN sběrnice

Vozidlo kromě řídicí jednotky brzd (BCU) zahrnuje také řídicí jednotku pohonu (DCU), servořízení (SCU), světel (LCU) a centrální řídicí jednotku (CCU), která přijímá data z dálkového ovladače vozidla. Ta je nadřazenou jednotkou a přijatá data distribuuje dále ostatním jednotkám po sběrnici CAN.

Všechny řídicí jednotky tak dostávají na jednotlivých bajtech datových rámců informace jako například aktuální požadavek na velikost brzdného účinku, požadované otáčky trakčních motorů, nebo úhel natočení servořízení. Dále se mezi jednotkami přenášejí na konkrétních bitech příslušných bajtů datových rámců informace o chybách a vykonávaných procesech.

Každá jednotka připojená ke sběrnici má svůj identifikátor, kterým je přidělený číselný kód. Díky tomu je patrné, kterou jednotkou byl určitý datový rámec vyslán a jaké informace nesou jeho jednotlivé bajty. V případě datového rámce jednotky CCU nese prvních 6 bajtů informace o požadavcích pro ostatní jednotky. Další bajt je informací o stavu jednotky CCU a obsahuje také bit oznamující poruchu jednotky. Poslední, tedy osmý bajt informuje ostatní jednotky změnou své hodnoty o čerstvosti dat vysílaných jednotkou CCU.



Obr. 16 – Struktura datového rámce jednotky CCU na sběrnici CAN

Pro jednotku BCU jsou z tohoto datového rámce vyhrazeny dva bajty informací. Jeden nese informaci o požadovaném brzděném účinku a druhý informaci o aktivaci a deaktivaci parkovací brzdy.

3.3 Vývoj aplikačního software

Tato kapitola je věnovaná vývoji aplikačního software jednotky BCU. Krom samotného popisu funkce aplikačního software je ale nejprve popsán operační systém cílového procesoru, pro který byla aplikace vyvíjena a způsob, jakým se aplikace tohoto typu vyvíjí.

3.3.1 platforma pro MCU PPC5643L

Operační systém reálného času MXQ dodávaný firmou Freescale je na míru upravený pro použití s procesory této značky. Systém má na starost přístup do paměti, obsluhu přerušení a správu vstupů a výstupů. MQX se skládá z komponent jádra, které jsou jeho nutnou součástí a dále z přídavných komponent, které jsou volitelné. Jádro je typu mikrokernél, takže jsou do obrazu jádra nahrány pouze ty funkce, které MQX, nebo aplikace volá. [13][4]

Součástí jádra je oddíl inicializace. Inicializace je nezbytná pro spuštění aplikace, protože inicializuje hardware a spouští MQX. Když je MQX spuštěn, je vytvořen proces neboli task definovaný aplikací jako autostart task. Při běhu aplikace má spouštění, správu a ukončování tasku na starost speciální komponenta jádra pro správu tasků. K plánování (scheduling) slouží komponenta jádra pro FIFO plánování a pro round robin plánování a volitelná komponenta explicitního plánování. V případě metody FIFO je aktivní task ten s nejvyšší prioritou, který je připraven nejdéle. Metodou round robin je jako aktivní task vybrán ten task s nejvyšší prioritou, který je připraven nejdéle, aniž by spotřebovával svůj přidělený podíl času. Explicitní plánování funguje tak, že jsou tvořeny fronty tasků, které mají být vykonány. Další součástí jádra je například správa paměti s proměnnou velikostí paměťových bloků, nebo tzv. lightweight semaforey umožňující taskům přístup ke sdíleným zdrojům. Z přídavných komponent je to dále třeba správa paměti s pevnou velikostí paměťových bloků (tzv. partitions), obsluha přerušení, ale především ovladače vstupů a výstupů. Ty umožňují připojení a přístup k jednotlivým periferiím. [4]

Protože aplikace byla vyvíjena a laděna na operačním systému Windows v integrovaném vývojovém rozhraní CodeWarrior firmy Freescale, bylo třeba nejprve nainstalovat systému MQX a poté jej implementovat do vývojového rozhraní. Při prvním nahrání aplikačního software je pak MQX zaveden do procesoru společně s touto aplikací. Takto lze kód psát v jazyce C s použitím instrukcí z runtime knihoven systému MQX a nikoliv na bázi strojového jazyka procesoru.

Instrukce a jejich specifikace lze čerpat z uživatelských příruček k systému MQX, které poskytuje dodavatel Freescale. Kromě všeobecné uživatelské příručky [4], je to příručka obsahující seznam všech funkcí a způsob jejich aplikace do zdrojového kódu, včetně příkladů použití [5]. V tomto dokumentu je obsažen také seznam specifických datových typů, se kterými MQX pracuje. Dostupná je také příručka popisující práci se vstupy, výstupy a ovladači periférií [3].

3.3.2 Princip funkce aplikačního software

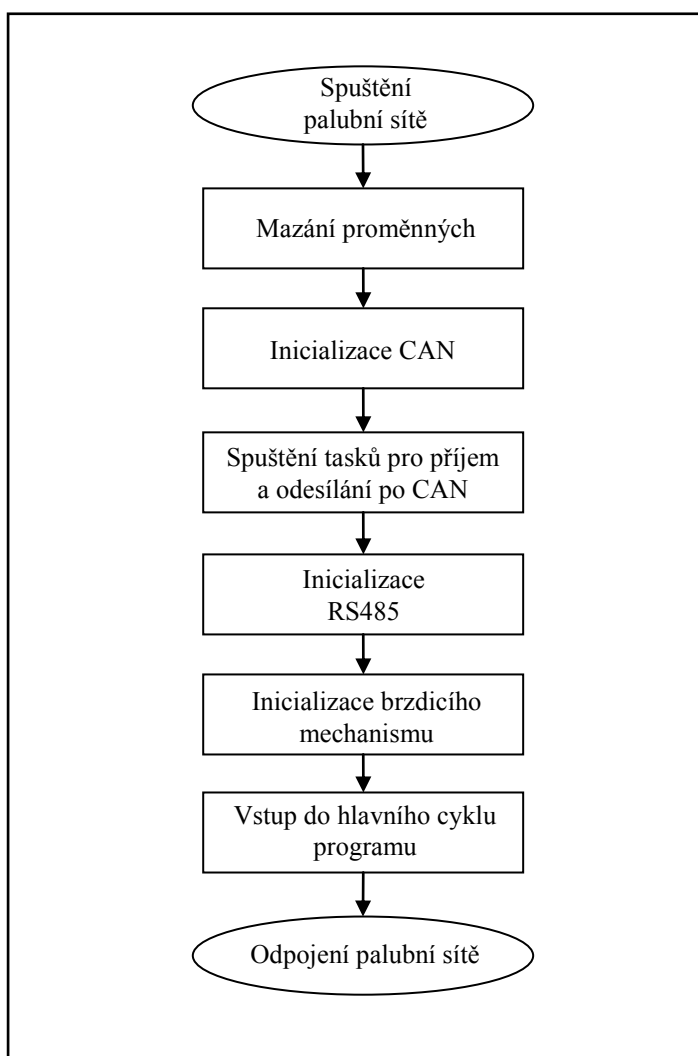
V hlavním tasku aplikace dojde po spuštění z bezpečnostních důvodů nejprve k vymazání všech proměnných, které řídící jednotka BCU používá ke sdílení dat na sběrnici CAN. Poté je volána funkce pro inicializaci komunikace po sběrnici CAN. Touto inicializací se nastaví parametry jako například přenosová rychlost, nebo komunikační mód, nastaví se také příslušné komunikační vstupy a výstupy zařízení. Následuje vytvoření tasků pro vysílání a přijímání dat skrze CAN.

Další volanou funkcí je inicializace linky RS485. Funkce nejprve nastaví GPIO pro příjem a odesílání dat. Komunikační kanál je z pohledu procesoru uveden do stavu pro zápis dat. Po otevření komunikačního kanálu nastaví inicializační přenosovou rychlost, naplní buffer inicializačním příkazem pro modul R356, který je následně odeslán. Tímto příkazem jsou nastaveny parametry, jako je proud dodávaný krokovému motoru při jeho pohybu, zádržný proud, což je proud odebíraný v klidovém stavu krokového motoru, počet mikrokroků na otáčku, rychlost a zrychlení motoru. Po této proceduře je komunikační kanál uveden do takového stavu, aby mohl procesor vyčítat data z linky RS485. Nakonec je nastavena konečná přenosová rychlost kanálu.

Když jsou nastaveny parametry krokového motoru, může být provedena inicializace samotného brzdicího mechanismu. Funkce, která má tento úkon na starost musí opět

nejprve nastavit komunikační kanál RS485 pro zápis dat. Protože brzdový mechanismus, se po spuštění elektronických systémů vozidla nemusí nacházet v odbrzděném stavu, je nejprve zapsán do bufferu a odeslán příkaz pro úplné odbrzdění. Tento úkon je ukončen dojetím vozičku lineárního vedení na doraz, což je detekováno spínačem. Následně je prostřednictvím jiného příkazu nahraného do bufferu a odeslaného kontroléru R356 uložena tato poloha jako výchozí nulová pozice. Komunikační kanál je nastaven zpět do stavu, kdy je z něj procesor schopen číst.

Nyní program přechází do svého hlavního cyklu. Tento cyklus je stěžejní částí programu, ve které se odehrává veškerá komunikace po CAN sběrnici. Odezvou na přijatá data, jsou příkazy nahrané do bufferu linky RS485 a odeslané modulu R356.



Obr. 17 – Diagram hlavního tasku aplikace

V hlavním cyklu je v první řadě podmínkou ověřováno, zda některá z ostatních ŘJ neposílá na sběrnici informaci o své poruše. To je prováděno tak, že příslušné bajty jsou porovnány s bajtem, jehož stav bitů odpovídá poruše jednotek. Pokud je podmínka splněna a je detekován poruchový stav některé z jednotek, je programem volána funkce, která uvede brzdovou soustavu do stavu nouze. Ten spočívá v nastavení menší rychlosti krokového motoru, a pozvolném přestavení mechanismu do polohy maximálního brzdění. Takto je vozidlo zastaveno, aniž by došlo ke smyku, nebo dokonce převrácení vozu vlivem prudkého brzdění. Funkce pro uvedení mechanismu do stavu nouze musí, tak jako všechny ostatní funkce zajišťující komunikaci s modulem R356, před naplněním bufferu a posláním příkazu nastavit komunikační kanál RS485 do požadovaného stavu a po provedení operace zpět do stavu, kdy je procesor schopen z tohoto kanálu vyčítat data. Protože byly brzdy uvedeny do chodu, je na sběrnici CAN vyslána informace o provedení tohoto úkonu. To znamená, že je vyslán datový rámec s identifikátorem jednotky BCU, jehož příslušný bajt má na dané pozici bit s hodnotou 1.

Pokud nebyla detekována žádná porucha v elektronických systémech vozidla, přejde program k podmínce, která ověřuje čerstvost dat vyslaných jednotkou CCU na sběrnici CAN. Podmínkou je zjišťováno, zda nedošlo ke změně hodnoty posledního bajtu datového rámce vyslaného jednotkou CCU. Ten mění svou hodnotu při každém odeslání nové informace na sběrnici. Pokud se tedy hodnota od poslední uložené liší, jedná se o nový datový rámec, na který je třeba reagovat.

Nejprve je ověřen požadavek aktivace parkovací brzdy. Tuto informaci získává jednotka BCU prostřednictvím bajtu datového rámce jednotky CCU, který je vyhrazen pro tento účel. Pokud je podmínka vyhodnocena kladně, je nastaven na maximální hodnotu argument funkce, která převádí velikost požadovaného brzdného účinku v procentech na řídicí pulzy odpovídající počtu otáček krokového motoru. Tato hodnota je pak další funkcí distribuována na linku RS485 a poslána modulu R356 jako příkaz, aby byl brzdící mechanismus přestaven do polohy maximálního brzdného účinku a v této poloze setrval, dokud nebude přijat požadavek na odbrzdění parkovací brzdy. V rámci tohoto úkonu je opět vyslána na sběrnici CAN informace o aktivaci brzd.

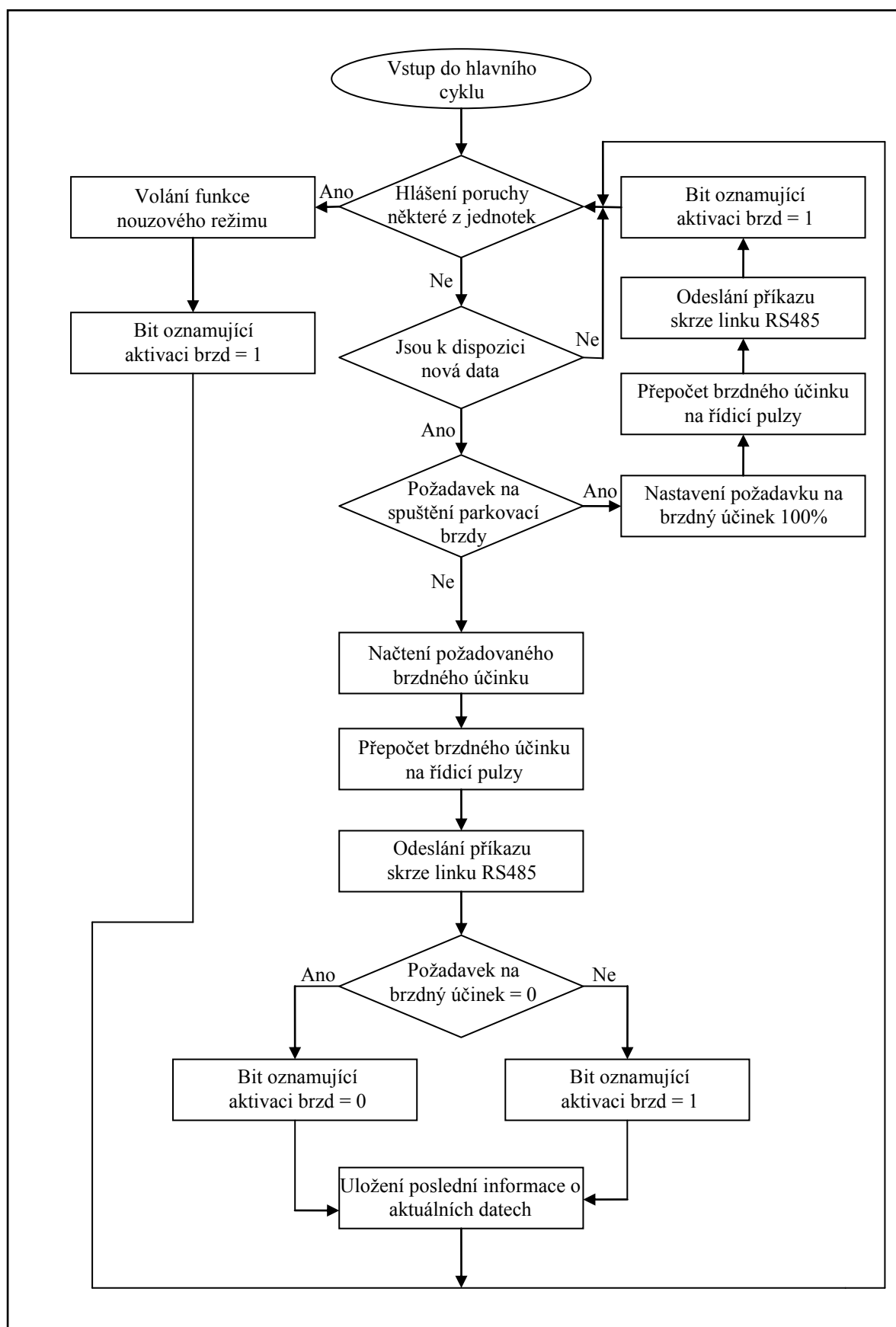
V opačném případě, kdy nenastal požadavek na aktivaci parkovací brzdy, je do argumentu funkce na přepočet brzdného účinku, zmíněné v předchozím odstavci, uložena hodnota brzdného účinku v procentech, která je vyčtena z daného bajtu datového rámce vyslaného

jednotkou CCU. Uvnitř této funkce dojde nejprve k přepočtu argumentu na řídicí pulzy. Poté je třeba touto hodnotou naplnit buffer. Tento buffer je dynamický. To znamená, že přizpůsobuje svou velikost počtu číslic zapisované hodnoty. Velikost bufferu je určena počáteční podmínkou. Poté je buffer vymazán po předchozím plnění a následně naplněn aktuální hodnotou postupně po jednotlivých číslicích v jednoduchém cyklu.

Další funkce sloužící k posílání této hodnoty kontroléru R356 doplní před tuto hodnotu adresu kontroléru a symbol značící pohyb krokového motoru na absolutní hodnotu. Za hodnotu požadovaného pohybu pak doplní ukončovací znaky tak, aby měla zpráva úplný formát příkazu pro kontrolér R356 a mohla být odeslána po lince RS485.

V případě že požadavek na brzdny účinek byl nenulový a brzdy byly aktivovány, je příslušný bit v datovém rámci odeslaném na sběrnici CAN značící tento stav nastaven na hodnotu 1. Pokud brzdy nebyly aktivovány, má tento bit hodnotu 0.

Na konci tohoto hlavního cyklu se uloží poslední zpracovaná hodnota bajtu datového rámce vyslaného CCU, který značí čerstvost dat, aby mohla být jeho hodnota v následující iteraci hlavního cyklu porovnána s hodnotou aktuální a mohl být detekován nově příchozí datový rámec z jednotky CCU. Celý cyklus se takto nekonečně opakuje.



Obr. 18 – Diagram popisující funkci hlavního cyklu aplikace

4 Ověření funkčnosti a testování

Již během vývoje systému bylo třeba průběžně ověřovat správnou funkčnost a to především z hlediska softwarové aplikace. Protože v průběhu ladění nebyla k dispozici jednotka CCU, sloužil jako nadřazený systém osobní počítač. Ten byl spojen s vývojovým kitem TWR-PXS20 prostřednictvím adaptéru USB2CAN, který slouží k připojení PC na sběrnici CAN přes USB port.

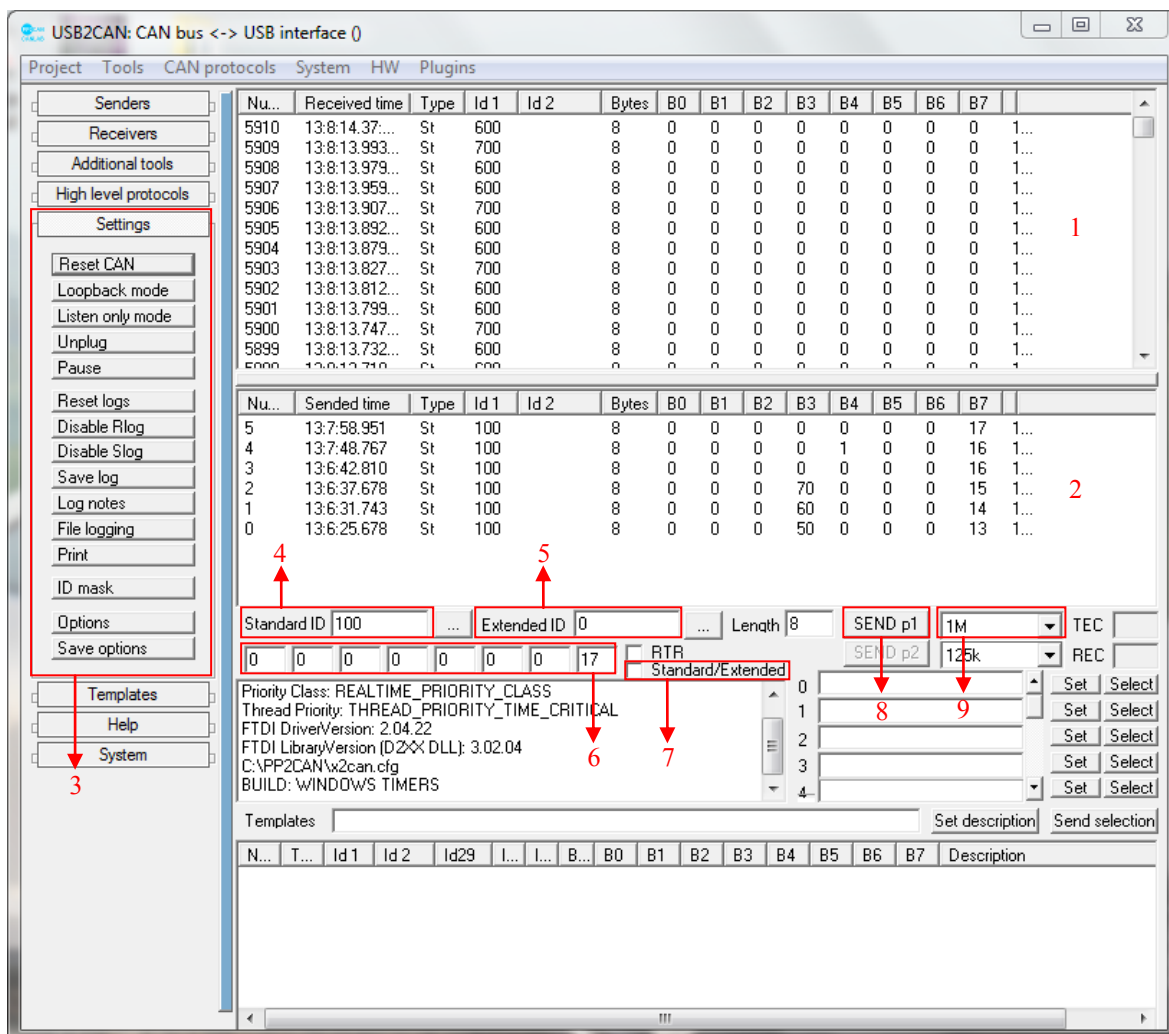


Obr. 19 – Adaptér USB2CAN

Krom samostatného testování software jednotky BCU mohlo být v následující fázi ladění a testování ověřeno tímto způsobem i spojení mezi několika vývojovými kity nahrazujícími jednotky BCU, SCU a LCU. Ty byly připojeny ke společné sběrnici CAN, přičemž jako nadřazený systém sloužil opět osobní počítač.

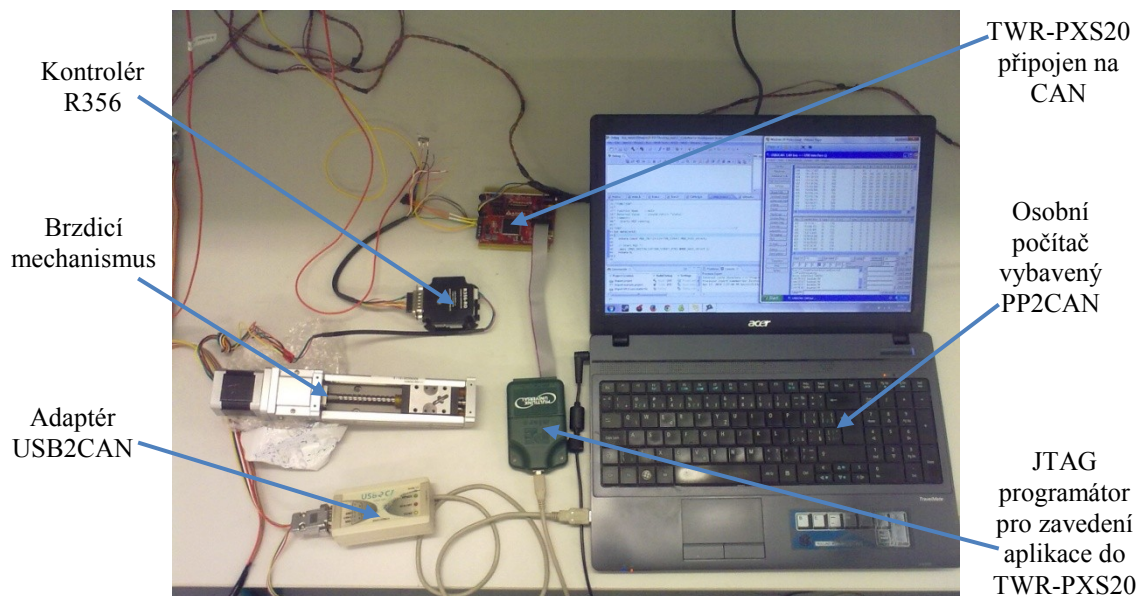
Osobní počítač připojený na sběrnici CAN s využitím USB2CAN adaptéru musí být vybaven diagnostickým software PP2CAN. Jedná se o softwarové rozhraní sloužící k diagnostice komunikace po sběrnici CAN, ale také k vývoji aplikací využívajících CAN komunikaci. Software umožňuje jak příjem, tak odesílání dat na sběrnici. Přenášené zprávy lze také ukládat pro pozdější analýzu. [1]

Toto rozhraní umožnilo osobnímu počítači při testování zastávat nejen funkci jednotky CCU, ale kterékoliv jiné jednotky připojené na sběrnici díky možnosti nastavení identifikátoru generovaného datového rámce.



Obr. 20 – Rozhraní PP2CAN

Na Obr. 20 je zachyceno rozhraní PP2CAN v průběhu komunikace osobního počítače s vývojovým kitem TWR-PXS20 nahrazujícím jednotku BCU. V horním okně rozhraní (1) jsou zachycena data přijatá počítačem ze sběrnice, v okně spodním (2) pak data, která byla generována z počítače na sběrnici. Po levé straně dialogového okna se nacházejí položky umožňující nastavení a konfiguraci rozhraní PP2CAN (3). Položka Standard ID (4) slouží k nastavení identifikátoru generovaného datového rámce. Extended ID (5) umožňuje nastavit prodloužený identifikátor. Pod poli pro nastavení identifikátorů se nacházejí pole příslušných bajtů datového rámce (6). Volba Standard/Extended (7) určuje, zda bude u odeslaného datového rámce standardní, či prodloužený identifikátor. Tlačítko SEND p1 (8) je tlačítko pro odeslání nakonfigurovaného datového rámce. Vlevo od tohoto tlačítka je pak roletka s volbou přenosové rychlosti sběrnice (9). Tato rychlost musí být nastavena v souladu se zařízeními, se kterými po sběrnici komunikujeme.



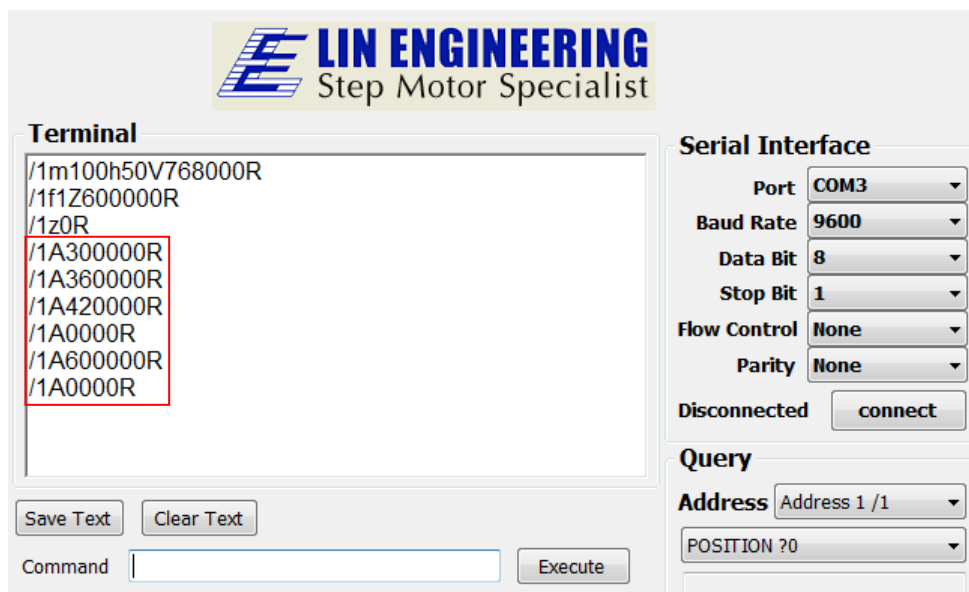
Obr. 21 – Proces ladění aplikačního software jednotky BCU

Za potřeby bylo sledovat také komunikační kanál RS485 který byl využit pro předávání dat mezi vývojovým kitem TWR-PXS20 a kontrolérem R356. Co se týče hardware, byl za tímto účelem využíván převodník USB/RS485. Jako softwarové vybavení sloužil program LinControl.



Obr. 22 – Převodník USB/RS485

Software LinControl je schopen zachycovat příkazy pro kontrolér R356 přenášené po komunikačním kanálu a zobrazovat je ve formě ASCII znaků. Neumí však zobrazovat některé skryté znaky, jako například ukončovací znaky řetězce příkazů. Pro podrobnější analýzu dat přenášených po lince RS485 je tedy třeba použít osciloskop. LinControl je kromě monitorování komunikačního kanálu určen především k samotnému zadávání příkazů pro řízení krokového motoru. Příkazy se dají zadávat buďto psaním, nebo lze využít řídicích prvků a nabídek programu a generovat příkazy bez nutnosti znalosti jejich přesného zápisu.



Obr. 23 – LinControl

Příkazy pro kontrolér R356 zachycené na Obr. 23 označené červeným rámečkem jsou odezvou na data přijatá řídicím systémem ze sběrnice CAN. Tato konkrétní data jsou zobrazena na Obr. 20 v okně rozhraní PP2CAN, které obsahuje data generovaná z osobního počítače. Jejich význam je požadavek na brzdný účinek v procentech. Tomu pak odpovídá příkaz pro kontrolér R356 nesoucí hodnotu kroků krokového motoru.

Jako příklad stanovme příkaz /1A300000R. Struktura tohoto příkazu je následující: Znak „/“ znamená start příkazu. Číslo „1“ je adresa kontroléru. Následuje význam příkazu, čili písmeno „A“. To znamená nastavení motoru na absolutní pozici. Hodnota „300000“ je počet kroků, udávající absolutní pozici, na kterou se má motor nastavit. Písmeno „R“ značí povel pro provedení příkazu.

Co se týče samotné mechanické funkčnosti systému, musela být praktickým odměřením stanovena délka maximálního posuvu vozičku lineárního vedení, respektive počet kroků motoru tak, aby vzhledem k realizované mechanické vazbě odpovídala maximálnímu stlačení brzdového válce. Tato hodnota pak byla nadefinována do zdrojového kódu aplikačního software řídicí jednotky BCU jako konstanta pro přepočet požadovaného brzdného účinku na řídicí pulzy krokového motoru. Přesné určení tohoto dorazu je důležité pro správnou funkci systému, protože zabráňuje poškození lanka, které je součástí mechanického propojení lineárního vedení s hlavním brzdovým válcem a také přetěžování krokového motoru.

Poslední praktickou zkouškou je ověření schopnosti udržet vozidlo v zabrzděném stavu. Na základě této zkoušky se stanoví ideální poměr mezi krouticím momentem krokového motoru a dynamikou brzdícího mechanismu. Jelikož dostupný krouticí moment krokového motoru klesá s jeho otáčkami dle momentové charakteristiky, viz *Obr. 3*, je tento poměr softwarově nastaven jako provozní rychlost krokového motoru.

5 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a zrealizovat funkční brzdový systém pro demonstrační vozidlo s elektrickým pohonem DEMOCAR. Z hlediska účinnosti a úspory energie je ideální, aby vozidlo s elektrickým pohonem brzdilo primárně trakčními elektromotory. Navrhnutá a realizovaná brzdová soustava tedy slouží jako doplňující zařízení pro brzdění ve spolupráci s těmito elektromotory.

Řešení rozhodování o tom, zda brzdit motory, či brzdovou soustavou nebylo předmětem této práce. Tento problém řeší centrální řídicí jednotka CCU na základě dat přijatých z řídicí jednotky pohonu DCU.

Brzdová soustava zajišťuje krom funkce provozních brzd také funkci parkovací brzdy. Dále zajišťuje bezpečné zastavení vozidla ve stavu poruchy některého z ostatních elektronických systémů vozu. Těmito systémy je palubní síť, pohon vozidla, servořízení, centrální řídicí jednotka s bezdrátovým přijímačem dat zadávaných uživatelem prostřednictvím vysílačky, popřípadě systém osvětlení vozidla. Součástí soustavy je také sekundární hydraulický okruh spouštěný ruční pákou, který slouží k zajištění vozidla například při přepravě.

Jelikož je brzdová soustava závislá na dodávce elektrické energie, bylo by vhodné v budoucnu opatřit demonstrační vozidlo doplňujícím bezpečnostním prvkem, nezávislým na dodávce elektrické energie. Ten by měl zajistit brzdění vozidla při výpadku dodávky elektrické energie pro brzdovou soustavu, popřípadě při úplném kolapsu palubní sítě. Takové opatření by mohlo být řešeno například mechanismem, který by v klidovém stavu brzdil vozidlo silou pružiny, přičemž při aktivaci palubní sítě by byl odbrzděn elektromagneticky.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Takáčovi a Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěli k vypracování této diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1] CANLAB S.R.O. *Diagnostický SW PP2CAN: Uživatelský manuál* [online]. 2008 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://rs.canlab.cz/sites/default/files/SW%20PP2CAN.pdf>
- [2] Formánek, Jakub. *Návrh a praktická realizace elektronického servořízení*. Ostrava, 20013. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale MQX I/O Drivers: User Guide*. 2013.
- [4] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale MQX Real-Time Operating System: User Guide*. 2013.
- [5] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale MQX RTOS: Reference Manual*. 2013
- [6] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *PXS20 Microcontroller: Data Sheet*. 2011.
- [7] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *PXS20 Microcontroller: Reference Manual*. 2011.
- [8] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *TWR-PXS20: USER GUIDE*. 2011.
- [9] LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION. *LTC485: Low Power RS485 Interface Transceiver* [online]. 1994 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/485fk.pdf>
- [10] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *Datasheet: PCA82C250 CAN controller interface* [online]. 2000 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/959/021/82c250t-smd-datasheet-1.pdf>
- [11] RMS TECHNOLOGIES. *R356 Controller: User Manual*. 2009.
- [12] STMICROELECTRONICS. *LE00AB/C SERIES: VERY LOW DROP VOLTAGE REGULATORS WITH INHIBIT* [online]. 2005 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/934/021/le33cd-datasheet-1.pdf>
- [13] Takáč, Jiří. *Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů elektromobilu*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [14] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. *SN74CBTD3384C: 10-BIT FET BUS SWITCH WITH LEVEL SHIFTING 5-V BUS SWITCH WITH -2-V UNDERSHOOT PROTECTION* [online]. 2003 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74cbtd3384c.pdf>

- [15] TRACO ELECTRONIC AG. *DC/DC Converters: TSR-I Series, 1 A* [online]. 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:
<http://www.tracopower.com/fileadmin/medien/dokumente/pdf/datasheets/tsr1.pdf>
- [16] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: Prof.Ing. František Vlk, DrSc nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-6464-X.

Seznam příloh

Příloha A – Osazovací plán desky plošných spojů jednotky BCU

Příloha B – Výkres: Úchyt lanka

Příloha C – Výkres: Úchyt bovdeny

Příloha D – Výkres: Páka